Titel:

Hybridfügen durch Fließlochformen

Title:

Hybrid joining using the flow drill technology

Zusammenfassung:

Für die Herstellung hybrider Werkstoffverbindungen werden aktuell verschiedene Verfahren mit und ohne Hilfsfügeelementen eingesetzt. Dabei kommt es zu unterschiedlichen Anforderungen sowie Problemen beim Fügen. Ein stoffschlüssiger hybrider Verbund aus Faser-Kunststoff-Verbunden (FKV) und Metall durch Kleben benötigt bspw. eine aufwendige Vorbehandlung der Fügepartner. Bei mechanischen Fügekonzepten zerstören die Fügeelemente meist die lasttragenden Fasernlokal, benötigen eine beidseitige Zugänglichkeit des Metall- und FKV-Halbzeuge. Zusätzlich beseht ein hoher Aufwand in der Positioniergenauigkeit. Das neue Verfahrensprinzip, welches durch das Fraunhofer Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik (IWU) und der Technischen Universität Braunschweig gemeinsam entwickelt wurde, stellt ein zusätzliches Fügeverfahren zum Verbinden metallischer Bleche mit FKV-, Holz- und Kunststoffhalbzeugen dar. Die beschriebenen Halbzeuge werden zwischen mindestens zwei metallischen Blechen positioniert. Die metallischen Halbzeuge und die (faserverstärkten) Kunststoff- und Holz-Halbzeuge können dabei gleiche oder unterschiedliche Abmessungen aufweisen. Auch können eines der metallischen Bleche oder beide metallischen Bleche Bestandteil einer Sandwichstruktur sein. Anschließend erfolgt das definierte Durchdringen aller Halbzeuge mit einem Fließlochformer. Dabei werden die Metalle erwärmt und verdrängt. Dies geschieht ohne Materialabtrag. Die Matrix des FKV-Halbzeugs wird aufgeschmolzen und die Verstärkungsfasern werden ggf. durch den Fließlochformer verdrängt und nicht zerstört, sodass ein kraftflussgerechter Faserverlauf gewährleistet ist. Das verdrängte Material formt eine Art Hülse aus, die wiederum zur Ausformung oder zum Schneiden oder Formen eines Gewindes genutzt werden kann. Bei gezielter Wahl der Prozessparameter und Materialkombination kommt es zur Ausbildung eines Form- und Stoffschlusses. Experimentell wurde das Verfahrensprinzip bereits zum Fügen eines metallischen Blechs mit einem FKV-Halbzeug und einer metallischen Decklage eines Metallschaumsandwiches getestet. Das Ergebnis ist in Abbildung 1 dargestellt.

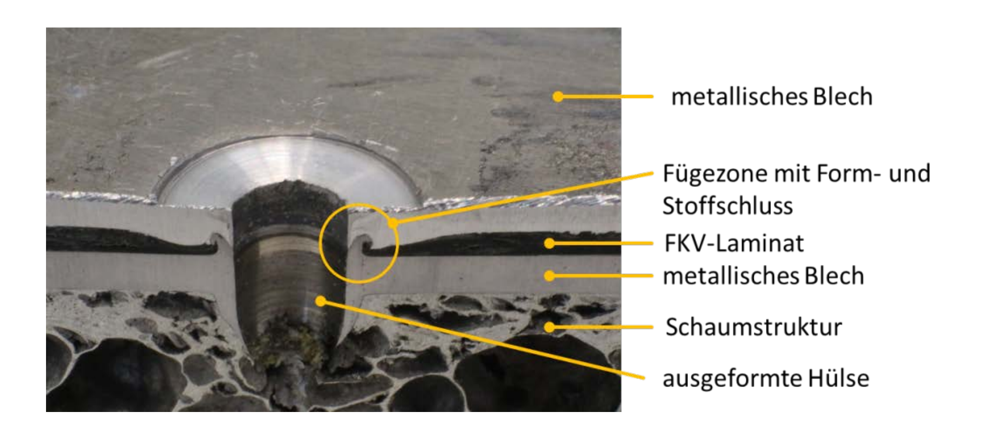


Abbildung 1: Ausgeformte Hülse bei gleichzeitigem Stoff- und Formschluss Metall/FKV/Metallschaum

Die Vorteile des Verfahrens sind: lediglich einseitige Zugänglichkeit zur Fügestelle, Materialverdrängung, d.h. kein Materialabtrag, keine Vorlochbohrungen erforderlich, daraus resultierende große Lagetoleranzen der zu fügenden Halbzeuge (Positioniergenauigkeit), Aufschmelzen der Matrix und ggf. kraftflussgerechte Verdrängung der Fasern, Ausbildung eines Hinterschnitts / Formschlusses und ggf. Ausbildung eines Stoffschlusses. Das Verfahrensprinzip eignet sich für alle Anwendungsgebiete in denen metallische Bleche u.a. mit FKV-Halbzeugen verbunden werden. Zu nennen sind hier der Maschinen- und Anlagenbau, der Automobil-, Schienenfahrzeug und Schiffsbau sowie die Luft- und Raumfahrttechnik.

Abstract:

Various processes with and without additional fasteners are currently used for the production of hybrid material connections. This leads to different requirements and problems when joining. A cohesive hybrid composite joint of fiber reinforced plastics (FRP) and metal by gluing requires, for example, complex pretreatment of the joining partners. With mechanical joining concepts, the joining elements usually destroy the load-bearing fibers locally and require access to the metal and FKV semi-finished products from both sides. In addition, there is a lot of effort in positioning accuracy. The new process principle, which was developed jointly by the Fraunhofer Institute for Machine Tools and Forming Technology (IWU) and the Technical University of Braunschweig, represents an additional joining process for joining metal sheets with FRP, wood and plastic semi-finished products. The semi-finished products described are positioned in between at least two metal sheets. The metallic semi-finished products and the (fiber reinforced) plastic and wood semi-finished products can have the same or different dimensions. One of the metallic sheets or both metallic sheets can also be part of a sandwich structure. Then the defined penetration of all semi-finished products takes place with a flow punch former. The metals are heated and deformed. This happens without material removal. The matrix of the FRP semi-finished product is melted and the reinforcing fibers are, if applicable, displaced by the flow punch former and not destroyed, so that a continuous fiber load path is guaranteed. The deformed metal forms a kind of sleeve, which in turn can be used for shaping or for cutting or forming a thread. With a targeted choice of process parameters and material combination, a form closure and adhesive bond can be produced. The principle of the procedure for

joining a metallic sheet with an FRP sheet and a metallic top layer of a metal foam sandwich has already been experimentally tested. The result is shown in Figure 1.

Autoren:

Rico Schmerler 1), Markus Grünert 1); Felix Rothe 2)

Institution:

Fraunhofer-Gesellschaft, IWU 1); TU Braunschweig 2)

Datum:

1. Welches technische Problem liegt der Erfindung zu Grunde?

Zur Herstellung hybrider Werkstoffverbindungen werden aktuell verschiedene Verfahren eingesetzt, die in Prozesse mit und ohne Hilfsfügeelemente unterschieden werden [1–7].

- Hybride Verbunde aus FVK und Metallen nur mit aufwendiger Vorbehandlung stoffschlüssig möglich
- Bisherige mechanische Fügekonzepte zerstören meist die lasttragenden Fasern, benötigen eine beidseitige Zugänglichkeit des Metall- und Organobleches, hoher Aufwand in der Positioniergenauigkeit

2. Wie wurde dieses Problem bisher gelöst?

Für die Umsetzung innovativer Leichtbaulösungen auf Grundlage hybrider Metall-FVK-Strukturen ist die Verbindungstechnik hybrider Werkstoffverbunde eine zentrale Fragestellung. Grundsätzlich kann der Verbund auf drei Arten hergestellt werden. Dabei sind die Verfahren auch teilweise kombiniert einsetzbar:

- stoffschlüssig, z. B. durch Kleben [5]
- formschlüssig, z. B. durch Umspritzen [8, 9]
- kraftschlüssig, z. B. durch Klemmung [10]

Die Gesamtthematik der Verbindungstechnik ist Gegenstand zahlreicher Forschungsarbeiten, die sich unter anderem intensiv mit der adhäsiven Strukturanbindung mittels Klebstoffe beschäftigen [5]. Des Weiteren gibt es zahlreiche etablierte mechanische Fügeverfahren für FKV-Metall-Verbunde. [11] Diese können beispielsweise unterschieden werden in:

- Direktverschraubung und Durchsteckverbindung (z. B. FDS, Blindniet)
- Insertverbindung [12]
- Fügen durch Urformen [13]

In der Vergangenheit gab es intensive Forschungstätigkeiten, die die Tragfähigkeit von hybriden Metall-FKV-Verbunden steigern. Ein vielversprechender Ansatz bieten strukturierte Metalleinleger für das In-Mould-Verfahren. Nachfolgend aufgeführt sind Technologien und Verfahren zur Erzeugung eines hybriden Metall-FVK-Verbundes.

Thermoplastisches Ausformfügen [13] (TAF)

Der Prozess des TAF gestaltet sich durch das fließformtechnische Ausformen einer Metallhülse in einem Schichtaufbau von einem Metall- und Organoblech. Die Reibungswärme des Dornes geht von dem Metall-blech in die Kunststoffmatrix des Organoblechs über und erwärmt diese oberhalb der Schmelztemperatur. Das Ausformen der Hülse führt zu der Umlenkung der Endlosfasern. Anschließend erfolgt ein definiertes Umformen der aus dem Organoblech herausragenden Metallhülse. Das Resultat ist eine formschlüssige Verbindung zwischen einem Metallblech und einem endlosfaserverstärktem Organoblech. Ein Großteil der lasttragenden Fasern wird um die Hülse ausgelenkt. Auf ein zusätzliches Fügeelement wird verzichtet. Das TAF ist ein Post-Mould-Verfahren und bedingt eine exakte Positionierung der Fügepartner. Der im 2. Prozessschritt benötigte Umformvorgang begrenzt die geometrische Gestaltungsfreiheit der FVK-Komponente. Die Gewährleistung einer Faserauslenkung nach einem gescherten Organoblech mit Scherwinkeln über 0° ist nicht gegeben.

Kragenfügen

Das Kragenfügen ist ebenso ein Post-Mould-Verfahren [4]. Die Erzeugung eines hybriden Bauteils erfolgt während eines Fügeschrittes und unterteilt sich in drei Schritte:

1. In einem Metallblech wird eine Bohrung eingebracht.
2. Die Bohrung dient als Zentrierung für den Stempel, der einen Kragen in das Blech zieht.
3. Das Fügeelement wird unter axialer Kraftbeaufschlagung in die Wand des Kunststoffteils eingepresst.

Das Resultat dieses Vorganges ist eine formschlüssige Verbindung zwischen dem Kragen-Blech und der Kunststoffkomponente. Durch den nachgestellten Fügeprozess werden in den faserverstärkten Kunststoffen die lasttragenden Fasern unterbrochen. Bei einem In-Mould-Verfahren würden die Fasern den Hinterschnitt jedoch umfließen. Die Auszugskräfte unter Scherzugbelastung liegen unter denen des angestrebten Forschungsvorhabens. Beim Kragenfügen existiert kein Hinterschnitt in z-Richtung.

Heißnieten

Ähnlich dem Kragenfügen ist das Heißnieten ein Post-Mould-Verfahren [3]. Anders als beim herkömmlichen Nieten wird hier auf ein zusätzliches Fügeelement verzichtet. Ein mit kreisförmigen Durchbrüchen versehenes Metallblech wird passgenau über einer Kunststoffapplikation positioniert. Aus der Kunststoffkomponente herausragende thermoplastische Stifte ragen nach der Positionierung des Metallblechs aus den Durchbrüchen heraus. Mit einem Stempel werden die thermoplastischen Stifte erwärmt und zu einem Nietkopf ausgeformt. Das Resultat ist ein allachsiger Formschluss.

Nachteilig für dieses Verfahren ist die zu erzielende hohe Positionier- und Passgenauigkeit zwischen der Metall- und Kunststoffkomponente. Dies führt zu einer Erhöhung der Taktzeit und hohen Aufwänden in der Werkzeugkonstruktion und Prozessführung.

Oberflächenstrukturierung durch mechanische Verfahren

Strahlen (Sandstrahlen), Plasmareinigen, Schleifen und Bürsten sind klassische Verfahren, die zur Oberflächenmodifikation für adhäsive Klebverbindungen zwischen Metall und FVK eingesetzt werden. Der wesentliche Effekt dieser mechanischen Behandlung besteht in der geometrischen Veränderung der Oberfläche bzw. der Oberflächenvergrößerung durch Aufrauen. [14–16] Neben der klassischen Oberflächenvorbehandlung durch Strahltechnik ist das SACO-Verfahren hervorzuheben. Zusätzlich zur Veränderung der Oberflächentopologie tritt durch die Verwendung eines silikatbeschichteten Korunds eine chemische Veränderung im Randzonenbereich (Einlagerungseffekte) auf. [17] Eine reine Oberflächenvergrößerung kann ebenfalls durch Walztechniken erzielt werden. Hierbei kann die Oberfläche von Feinblechen gezielt durch unterschiedliche Arbeitswalzen (Dressieren) bearbeitet werden. Pretex (galvanisches Abscheiden von Chrom erzeugt Strukturen), Lasertex (Texturierung mittels Laserstrahl) und EBT (Electron-Beam-Texturing) sind Verfahren, die zur vorherigen Strukturierung der Dressierwalzen eingesetzt werden. [18] Mit speziellen (Zerspanungs-) Walzen werden in der NRX-Technologie Oberflächen im makroskopischen Bereich aufgeraut und ebene Blechhalbzeuge mit einer gezielt hinterschnittigen Oberflächenstruktur zu versehen (Abbildung 13). Die grundsätzliche Ausrichtung der Strukturen ist durch das Walzverfahren vorgeben, die Strukturen sind in ihrer Ausprägung und Dichteverteilung auf dem Blech variabel. [19]

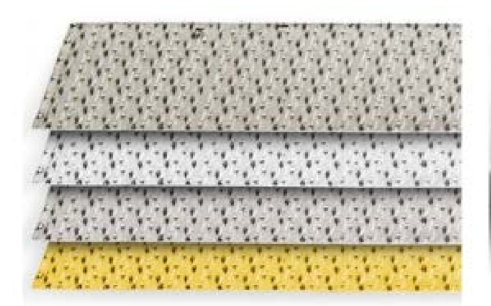
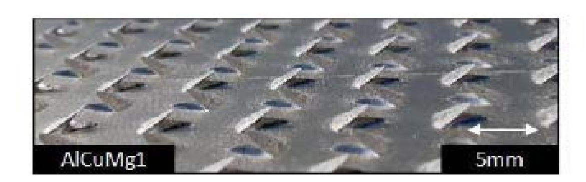



Abbildung 13: NRXTM-Materialien links und Verzahnung im Verbund (rechts) [19]

Die spezielle Strukturausprägung erzielt einen zusätzlichen Verklammerungseffekt zwischen zwei unter-schiedlichen Materialpaarungen wie Metall - FVK, der sich positiv auf die Strukturintegrität des Verbundes auswirkt. Allerdings sind die auf diese Weise hergestellten Blechhalbzeuge nicht mehr für eine Bauteilherstellung durch Umformen geeignet, da hierdurch die erzeugte Struktur zerstört würde.

Im Rahmen des Forschungsprojektes „HyTensile" (EFB - AiF 18112 N) wird am Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik der TU Braunschweig ein spezieller Verklammerungseffekt zwischen Metall und faserverstärktem Kunststoff untersucht. Ziel ist es hier die strukturelle Integrität im Bereich der Grenzflächen hybrider Materialpaarung zu steigern.



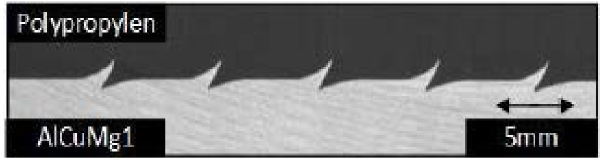
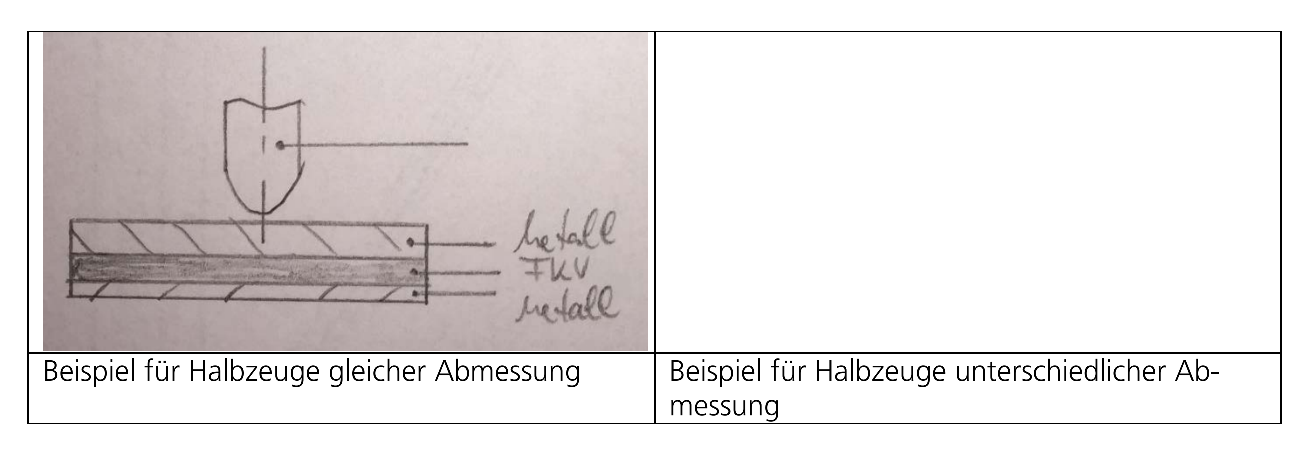


Abbildung 14: Strukturierte Oberfläche (links), Schliffbild Hybridprobe (links rechts) [2]

In dem Vorhaben werden dazu in einem Stoß-/ Umformprozess Einzelstrukturen auf einer metallischen Oberfläche erzeugt, welche einen Formschluss mit der Kunststoffkomponente ermöglichen. Die Ergebnisse aus dem ersten Projektzeitraum zeigen, dass durch Verklammerungsstrukturierung die Verbindungsfestigkeit deutlich gesteigert werden kann (Erhöhung der maximal übertragbaren Kräfte, Vergrößerung des Lastaufnahmeweges) [2]. Hierbei liegt der Fokus des Projektes auf der Erzeugung bzw. der Wirkung einzelner Strukturausprägungen auf die Verbundfestigkeit von Metall-FVK.

3. Lösungsweg

Die vorliegende Erfindung stellt ein neues Verfahrensprinzip dar um metallische Bleche mit FKV-Halbzeuge zu verbinden. Hierbei wird mindestens ein FKV-Halbzeug zwischen mindestens zwei metallischen Blechen positioniert. Die metallischen Halbzeuge und die (faserverstärkten) Kunststoff- und Holz-Halbzeuge können dabei gleiche oder unterschiedliche Abmessungen aufweisen, siehe Abbildung 1. Auch können eines der metallischen Bleche oder beide metallischen Bleche Bestandteil einer Sandwichstruktur sein. In folgenden Darstellungen wurde der Übersicht halber ein FKV-Halbzeug repräsentativ skizziert.



Beispiel für Halbzeuge gleicher Abmessung	Beispiel für Halbzeuge unterschiedlicher Abmessung

Anschließend erfolgt das definierte Durchdringen aller Halbzeuge mit einem Fließlochformer. Dabei werden die Metalle erwärmt und verdrängt, ohne Materialabtrag. Die Matrix des FKV-Halbzeugs wird aufgeschmolzen und die Verstärkungsfasern werden ggf. durch den Fließlochformer verdrängt und nicht zerstört, sodass ein kraftflussgerechter Faserverlauf gewährleistet ist [20].

Das verdrängte Material formt eine Art Hülse aus, die wiederum zur Ausformung oder zum Schneiden oder Formen eines Gewindes genutzt werden kann.

Bei gezielter Wahl der Prozessparameter und Materialkombination kommt es zur Ausbildung eines Form- und Stoffschlusses, wie Abbildung 2 verdeutlicht.

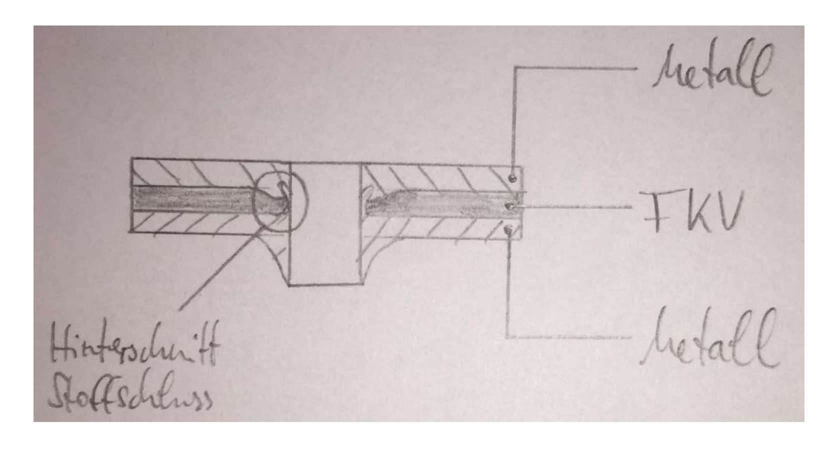


Abbildung 2: Verfahrensprinzips-Skizze

Experimentell wurde das Verfahrensprinzip bereits zum Fügen eines metallischen Blechs mit einem FKV-Halbzeug und einer metallischen Decklage eines Metallschaumsandwiches getestet. Das Ergebnis ist in Abbildung 3 dargestellt.

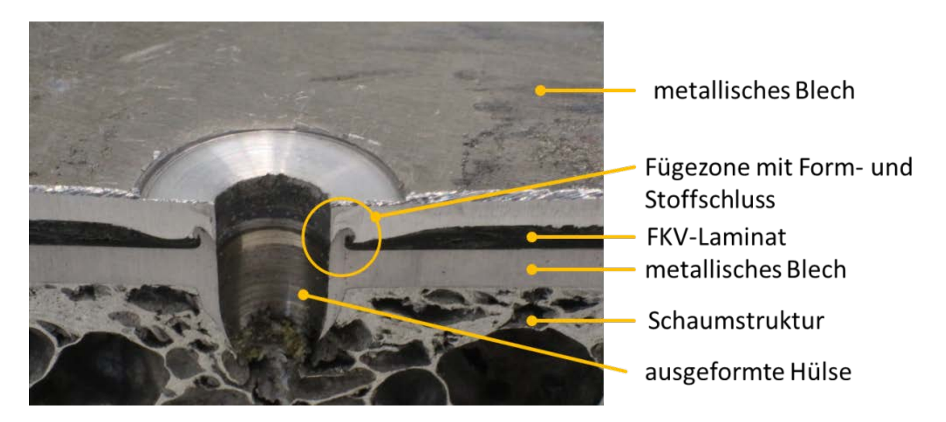


Abbildung 2: Ausgeformte Hülse bei gleichzeitigem Stoff- und Formschluss Metall/FKV/Metallschaum

Der Effekt konnte für weitere Halbzeug-Kombinationen nachgewiesen werden: Aluminium/FKV/Aluminium und Aluminium/Stahl/Aluminium, wie die folgenden Abbildungen zeigen.

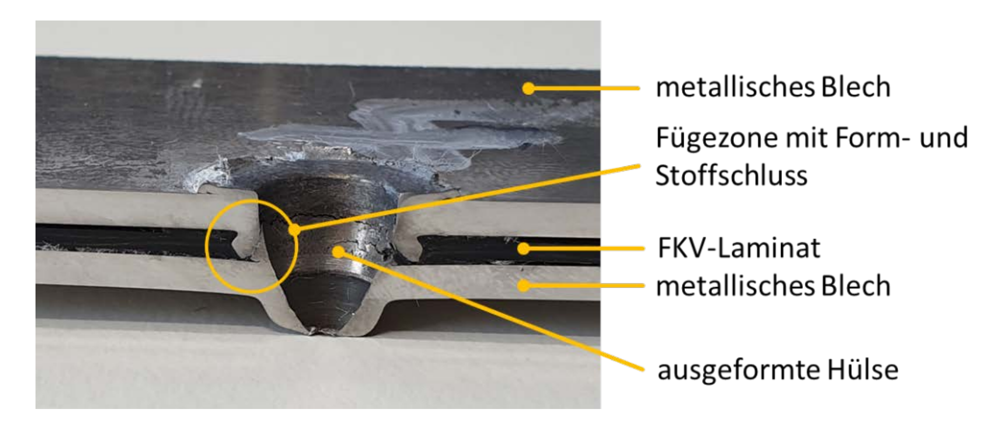


Abbildung 3: Ausgeformte Hülse bei gleichzeitigem Stoff- und Formschluss Aluminium/FKV/Aluminium

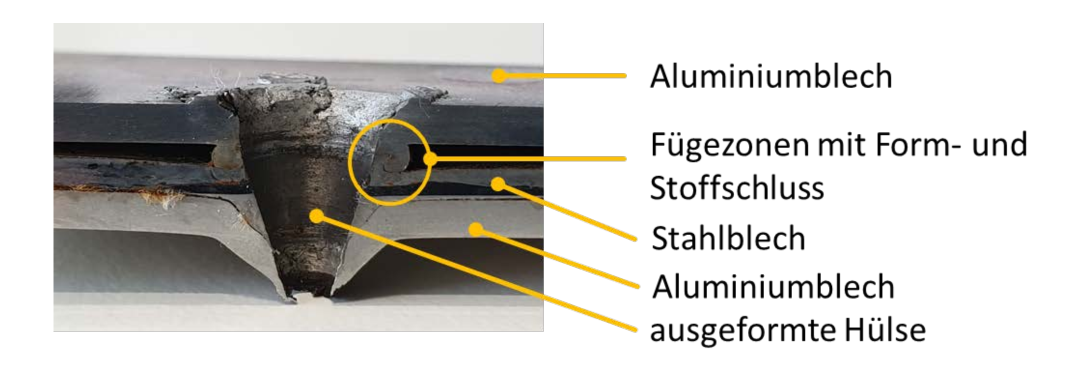


Abbildung 4: Ausgeformte Hülse bei gleichzeitigem Stoff- und Formschluss Aluminium/Stahl/Aluminium

4a. Welche Wirkungen und welche Vorteile haben die unter 3 beschriebenen besonderen technischen Merkmale? Was ist der wichtigste Vorteil?

Das unter 3 beschriebene Verfahrensprinzip stellt ein zusätzliches Fügeverfahren zum Verbinden metallischer Bleche mit FKV-, Holz- und Kunststoffhalbzeugen dar. Die Vorteile des Verfahrens sind:

- lediglich einseitige Zugänglichkeit zur Fügestelle,
- Materialverdrängung, d.h. kein Materialabtrag,
- keine Vorlochbohrungen erforderlich,
- daraus resultierende große Lagetoleranzen der zu fügenden Halbzeuge (Positioniergenauigkeit),
- Aufschmelzen der Matrix und ggf. kraftflussgerechte Verdrängung der Fasern,
- Ausbildung eines Hinterschnitts / Formschlusses und
- ggf. Ausbildung eines Stoffschlusses.

Der wichtigste Vorteil ist die Ausbildung eines Form- und ggf. Stoffschlusses ohne Materialabtrag.

4b. Gibt es Umgehungsmöglichkeiten?

Zum Fügen von Metallen mit FKV-, Holz- und Kunststoffhalbzeugen existiert eine Vielzahl an Fügeverfahren und –varianten. Den Erfindern sind keine Umgehungsmöglichkeiten bekannt, die mithilfe des Fließlochformens mindestens zwei metallische Bleche mit mindestens einem FKV-Halbzeug in einem Prozessschritt fügen.

4c. Wie kann eine Patentverletzung nachgewiesen werden?

Anhand von Schliffbildern der Fügestelle kann über eine Begutachtung der Materialverteilung, im Speziellen die hakenförmige Ausbildung der metallischen Bleche, sowie eine kegelförmige Ausbildung des Metalls auf der Unterseite der Fügestelle die Verwendung eines Fließlochformprozesses nachgewiesen werden. Computertomographische Untersuchungen des Verbundes lassen Aussagen

über eine lokalen Faserzerschnitt oder eine Faserverdrängung zu. Im Falle der Faserverdrängung ist von einem kegelförmigen Fügewerkzeug und Wärmeeintrag auszugehen, welche ebenfalls Charakteristika der beschriebenen Erfindung sind.

5. Abgrenzung der Erfindung von Veröffentlichungen/Patenten zum Fließlochformen

Modeling and analysis of roundness error in friction drilling of aluminum silicon carbide metal matrix composite:

Die Veröffentlichung von SOMASUNDARAM et al. fokussiert die Forschungsaktivitäten auf die Ermittlung der Prozessparameter für eine rissfreie Erzeugung der Fließlochhülsen. Die Prozessparameter werden an einem Aluminium-Silizium-Composite durchgeführt. Hierbei handelt es sich nicht um einen Verbundwerkstoff mit thermoplastischer Matrix. In der Veröffentlichung bildet das Aluminium die Matrix und Silicium den Verstärkungswerkstoff. Die Prozessparameter werden über eine konventionelle DOE und ANOVA ermittelt.

Die Untersuchungen zielen nicht darauf ab, einen neuen Verbund zwischen drei oder mehreren Werkstoffen einzustellen, wie es in der vorliegenden Erfindungsmeldung angestrebt ist. Die Länge der Fließlochhülse ist zu maximieren um darin ein Gewinde ausformen zu können. Das ist nicht Bestandteil und Ziel der Erfindungsmeldung.

DE 10 2014 006 681 A1 2015.11.12 - Verfahren und Einrichtung zum Fügen flächiger Körper:

Das vorliegende Patent erzielt eine formschlüssige Verbindung zwischen einem thermoplastischen Werkzeug und thermoplastischen (Verbund-)Werkstoff. Über Heizstrahler wird die Matrix des Werkstoffes erweicht. Das Werkzeug ist ein thermoplastischer Stab mit ausgeformter Spitze. Dieser Stab durchdringt den erweichten Werkstoff und verdrängt dabei die optionalen Verstärkungsfasern. Dadurch das die Materialpaarung sowohl dem Werkstoff als auch beim Werkzeug thermoplastisch ist bildet sich eine form-und stoffschlüssige Verbindung aus. Das Werkzeug verbleibt im Werkstoffverbund und wird Teil der Matrix.

Dieses Patent verwendet keinen rotierenden Hartmetalldorn (Fließlochformer) um eine Hülse aus einem Metall auszuformen, der durch einen weiteren Werkstoff (Verbund-, Natur-, anorganischer oder metallischer Werkstoff) durchdringt um dann infolge einer Walkarbeit und der entstehenden Reibungshitze eine form- und stoffschlüssige Verbindung mit einem anderen Metall (hier Aluminiumschaum) einzustellen. Die Abgrenzung erfolgt sowohl über das gewählte Verfahren, als auch dem erzielten Werkstoffverbund. Beide sind vom vorliegenden Patent verschieden.

DE 10 2009 013 265 A1 - Verfahren und Werkzeuge zur Herstellung einer Mischbaugruppe:

Das Patent beschreibt das Verfahren des thermoplastischen Ausformfügens. Dabei formt, wie auch in der vorliegenden Erfindungsmeldung, ein rotierender Hartmetalldorn (Fließlochformer) infolge einer Walkarbeit und der entstehenden Reibungshitze eine Fließlochhülse aus. Das Werkzeug und die ausgeformte Hülse durchdringen einen thermoplastischen (Verbund-)Werkstoff. Die Hülse verbleibt im Werkstoff und wird mit einem Stempel in einem zweiten Prozessschritt umgeformt. Das Resultat ist eine formschlüssige Verbindung zwischen dem Blech und dem (Verbund-)Werkstoff.

Mit dem aufgeführten Patent ist beabsichtigt einen Formschluss zu erzielen. Die vorliegende Erfindungsmeldung hingegen generieren einen Sandwich-Verbund durch die Erzeugung eines Stoffschlusses. Die Abgrenzung ist am Punkt der Durchdringung der Fließlochhülse vorzunehmen. Hier erfolgt ein neuer Prozessschritt, der einen mindestens 3-Lagigen Werkstoffverbund erzielt. Ab diesem Prozessschritt entsteht eine stoffschlüssige Verbindung, keine formschlüssige.

6. Technische Anwendungsgebiete

Das Verfahrensprinzip eignet sich für alle Anwendungsgebiete in denen metallische Bleche mit FKV-Halbzeugen verbunden werden. Zu nennen sind hier der Maschinen- und Anlagenbau, der Automobil-, Schienenfahrzeug und Schiffsbau sowie die Luft- und Raumfahrttechnik.

Literatur

[1] Gude, M.: ForelStudie Chancen und Herausforderungen im ressourceneffizienten Leichtbau für die Elektromobilität. Dresden 2015.

[2] Müller, S.; Brand, M.; Dröder, K.; Meiners, D.: Increasing the Structural Integrity of Hybrid Plastics-Metal Parts by an Innovative Mechanical Interlocking Effect (2015). Schweiz.

[3] Abibe, A. B.; Amancio-Filho, S. T.; Dos Santos, J. F.; Hage, E.: Development and Analysis of a New Joining Method for Polymer-Metal Hybrid Structures. In: Journal of Thermoplastic Composite Materials 24 (2011) 2, S. 233–49.

[4] Endemann, U.; Glaser, S.; Völker, M.: Kunststoff und Metall im festen Verbund. Verbindungstechnik für Kunststoff-Metall-Hybridstrukturen. In: KU Kunststoffe 92 (22), S. 101–13.

[5] Geklebte Bolzen für CFK-Bauteile. In: Lightweight Design 6/2013 (2013) 2, S. 58.

[6] Hufenbach, W.; Gude, M.; Troschitz, J.; Kupfer, R.: Fügesysteme für Faserverbundstrukturen mit Thermoplastmatrix. Fügen in der Großserie. In: Lightweight Design 6/2014 (2014) 3, S. 18–23.

[7] Koch, S.-F.; Dackweiler, M.; Pottmeyer, F.; Fleischer, J.: Intrinsische Hybridisierung im Schleuderverfahren. Kurze Fließwege. In: Lightweight Design 8/2015 (2015) 4, S. 12–19.

[8] Klocke, M.: Hybridtechnik - intelligenter und kosteneffektiver Leichtbau. Eine Alternative zum Aluminium- und Magnesium-Druckguss. URL: https://www.baumaschine.de/baumaschine/wissensportal-archiv/2006-01/wissenschaft-und-technik/hybridtechnik_dateien/hybridtechnik.pdf.

[9] Ridder, H.; Schnieders, J. (Hrsg.): Hybridspritzgießen. Möglichkeiten und Grenzen. Düsseldorf 2007.

[10] Draht, T.: Einseitig verbinden ohne Vorlochen. Fügen in der Automobilindustrie. In: Lightweight Design 12/2008 (2008) 6, S. 22–23.

[11] DVS-Berichte.

[12] Hopmann, C.; Fecher, M. L.; Linnemann, L.; Gries, T.; Bastian, R.; Schnabel, A.; Greb, C.: Comparison ot the properties of Onserts and In-serts for a high volue produc-tion of structural composite parts: Journal of Plastics Technology.

[13] Seidlitz, H.: Entwicklung von kraftflussgerechten Verbindungstechniken für Mischbauweisen mit thermoplastischen Faserverbunden und Metallen, Techn. Univ., Diss.--Chemnitz, 2013. München 2013.

[14] Haufe, M.: Methoden zur Verbesserung der Adhäsion von Klebstoffen an metallischen Oberflächen, Dissertation. Bielefeld 2002.

[15] Velthuis, R.; Mitschang, P.; Schlarp, A. K.: Prozessführung zur Herstellung und Eigenschaften von Metall/Faser-Kunststoff-Verbunden. Kaiserslautern 2006.

[16] Gleich, H.: Zusammenhang zwischen Oberflächenenergie und Adhäsionsvermögen von Polymerwerkstoffen am Beispiel von PP und PBT und deren Beeinflussung durch die Niederdruck-Plasmatechnologie, Dissertation. Duisburg-Essen 2004.
[17] Lebelt, P.; Gehrke, J.; Schütz, A. (Hrsg.): Verbesserung der Feuchtestabilität und des Korrosionsverhaltens von Klebverbindungen durch haftvermittelnde Fuktionsschichten. Erfurt 2007.
[18] Fosta Forschungsbericht.
[19] NuGripmetal s.à r.l. URL: https://www.gripmetal.com/grip-polymer-composites/.
[20] Technische Universität Chemnitz, 2013. Verfahren und Werkzeuge zum Herstellen einer Mischbaugruppe. Erfinder: Holger Seidlitz, Lars Ulke, Lothar Kroll. 31.01.2013. DE102009013265B4.

Erfinder:

Felix Rothe
Am Quälberg 6, 38518 Gifhorn

Rico Schmerler
Wahnsdorfer Straße 15
01129 Dresden

Markus Grünert
Badstraße 33, 09244 Lichtenau